

ABSTRAK

Dewasa ini kebutuhan akan energi cenderung semakin bertambah, akan tetapi sumber energi konvensional tidak dapat mengimbangnya. Sumber energi alternatif yang cocok untuk dimanfaatkan dan dikembangkan di Indonesia adalah tenaga matahari. Salah satu contoh pemanfaatan tenaga matahari guna menjalankan pompa air dikenal dengan nama *Solar Water Pump System*.

Ada lima komponen utama dalam *Solar Water Pump System*, yaitu : solar panel, charge regulator, accu, inverter dan pompa air. Transformasi energi radiasi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan oleh solar cell. Charge regulator berguna untuk mengatur tegangan dan arus dari solar panel menuju accu agar accu terhindar dari *overcharge*. Untuk menyimpan energi yang dihasilkan solar panel, sistem memerlukan accu. Karena sistem menggunakan beban AC maka diperlukan inverter untuk mengubah sumber energi DC yang tersimpan dalam accu menjadi energi AC.

Dalam perancangan prototype *Solar Water Pump System* ini, dijelaskan perhitungan spesifikasi minimum dari komponen sistem, perhitungan lama beban dapat beroperasi, waktu *charge* accu serta perhitungan besar *tilt angle* agar energi radiasi matahari yang diterima solar panel maksimum. Komponen yang direalisasikan yaitu: series regulator dan square wave inverter.

Dari data pengamatan, terlihat bahwa series regulator membutuhkan tegangan input minimum sebesar $15V_{DC}$ agar series regulator dapat aktif. Series regulator akan memutuskan daya dari solar panel menuju accu jika tegangan accu melebihi $12,7V_{DC}$. Tegangan accu mencerminkan kondisi energi yang tersimpan dalam accu, pada saat “penuh” tegangan accu bernilai $12,7V_{DC}$. Pada square wave inverter, bentuk sinyal output dipengaruhi oleh jenis beban. Untuk beban resistif, bentuk sinyal output tetap square, tetapi untuk beban induktif, bentuk sinyal output *rounded*.

ABSTRACT

Nowadays, the need of energy tends to increase, but conventional energy resources cannot handle it. Alternative energy resources that suitable to use in Indonesia is solar energy. The example of solar energy application is to operate water pump that known as *Solar Water Pump System*.

There are five major components in *Solar Water Pump System*, that is: solar panel, charge regulator, lead acid battery, inverter and water pump. Transformation radiation energy into electrical energy can be performing with solar cell. Charge regulator used to regulate voltage and current from solar panel into lead acid battery in order to prevent lead acid battery from *overcharge*. To store the energy that produced by solar panel, system need a lead acid battery. Because system use AC load then need an inverter to transform DC energy resources that save in lead acid battery into AC energy.

In this prototype design of *Solar Water Pump System*, explained about calculation minimum of component system, calculation how long load can be operate, time for *charge* lead acid battery also calculation *tilt angle* magnitude so solar radiation energy that accepted by solar panel maximum. The component realized that is: series regulator and square wave inverter.

In observation seen, that series regulator needs minimum input voltage as much $15V_{DC}$ in order to make series regulator active. Series regulator will cut a power from solar panel into lead acid battery if lead acid battery voltage over $12,7V_{DC}$. Lead acid battery voltage reflect energy condition that store in lead acid battery, when “full” lead acid battery voltage as much $12,7V_{DC}$. In square wave inverter, output signal form influenced with type of load. For resistive load, output signal form still square, but for inductive load, output signal form *rounded*.

DAFTAR ISI

halaman

LEMBAR PENGESAHAN

SURAT PERNYATAAN

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR RUMUS.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang Masalah.....	1
I.2 Identifikasi Masalah.....	2
I.3 Tujuan.....	2
I.4 Pembatasan Masalah.....	2
I.5 Spesifikasi Komponen.....	3
I.5 Sistematika penulisan	3

BAB II LANDASAN TEORITIS

II.1. Matahari.....	4
II.1.1 <i>Solar Radiation</i>	5
II.1.2 <i>Solar Altitude</i>	6
II.1.3 <i>Global Radiation</i>	10
II.1.4 <i>Air Mass (AM)</i>	11
II.1.5 <i>Tilt Angle</i>	12

II.2 Solar Cell (Photovoltaic Cell).....	13
II.2.1 <i>Solar Electricity System</i>	13
II.2.2 P-N Junction.....	16
II.2.3 Prinsip Kerja Solar Cell.....	19
II.2.4 Solar Cell Ideal.....	20
II.2.5 <i>Real</i> Solar Cell.....	25
II.2.6 Jenis Solar Cell.....	28
II.2.7 Interkoneksi Solar Cell.....	29
II.2.7.1 Koneksi Paralel.....	29
II.2.7.2 Koneksi Seri.....	30
II.3 Accu.....	34
II.3.1 Jenis Accu.....	34
II.3.2 Reaksi Elektrokimia Accu.....	36
II.3.3 Circuit Ekuivalen Accu.....	38
II.3.4 Karakteristik Accu.....	39
II.3.5 Kapasitas Accu.....	42
II.3.6 Efisiensi Accu.....	44
II.3.7 Interkoneksi Accu.....	45
II.4 Charge Regulator (Charge Controller).....	47
II.5 Inverter Satu Phasa.....	48
II.6 Pompa Air.....	52

BAB III PERANCANGAN PROTOTYPE

III.1 Prototype <i>Solar Water Pump System</i>	54
III.2 Analisa Sistem.....	55
III.2.1 Spesifikasi Minimum Komponen.....	55
III.2.2 Perkiraan Lama Beban Beroperasi dan Lama <i>Charge</i> Accu.....	56
III.2.3 Perhitungan <i>Tilt Angle</i>	57
III.2 MOSFET sebagai Switch.....	62
III.3 Series Regulator.....	63
III.4 Square Wave Inverter.....	66

BAB IV DATA PENGAMATAN

IV.1 Pengukuran Series Regulator.....	68
IV.2 Pengukuran Square Wave Inverter.....	69
IV.3 Lama <i>Discharge</i> Accu.....	71
IV.4 Lama <i>Charge</i> Accu.....	75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	79
V.2 Saran.....	79

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel II.1 <i>Solar radiation</i> beserta satuannya.....	5
Tabel II.2 <i>Solar altitude</i> untuk berbagai <i>latitude</i> selama <i>solstice</i> dan <i>equinox</i>	9
Tabel II.3 <i>Albedo</i> untuk berbagai jenis permukaan bumi.....	10
Tabel II.4 Karakteristik <i>Solar Electricity System</i>	16
Tabel II.5 Efisiensi maksimum solar cell.....	24
Tabel II.6 Tegangan open-circuit berdasarkan <i>State of Charge</i>	40
Tabel III.1 <i>Tilt angle</i> di Bandung selama periode <i>solstice</i> dan <i>equinox</i>	58
Tabel IV.1 Pengukuran series regulator.....	68
Tabel IV.2 Pengukuran lama <i>discharge</i> accu.....	71
Tabel IV.3 Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran <i>discharge</i> accu.....	74
Tabel IV.4 Pengukuran lama <i>charge</i> accu.....	75
Tabel IV.5 Perbandingan hasil perhitungan dan pengukuran <i>charge</i> accu.....	78

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar II.1 Spektrum radiasi matahari	4
Gambar II.2 Nilai <i>irradiance</i> bulanan untuk berbagai <i>latitude</i>	7
Gambar II.3 Ilustrasi <i>summer solstice</i> dan <i>winter solstice</i> (atas) Ilustrasi <i>vernal equinox</i> dan <i>autumnal equinox</i> (bawah).....	8
Gambar II.4 Variasi lamanya matahari bersinar untuk berbagai <i>latitude</i>	8
Gambar II.5 <i>Global radiation</i>	10
Gambar II.6 <i>Irradiance</i> pada siang hari yang cerah dengan kondisi AM1	11
Gambar II.7 <i>Tilt angle</i>	13
Gambar II.8 <i>Stand Alone / “Cabin” System</i>	14
Gambar II.9 <i>Grid-Connected System</i>	14
Gambar II.10 <i>Back-Up System</i>	15
Gambar II.11 <i>Hybrid System</i>	15
Gambar II.12 Cara kerja solar cell.....	20
Gambar II.13 Circuit ekuivalen untuk solar cell ideal.....	21
Gambar II.14 Simbol solar cell.....	21
Gambar II.15 Circuit ekuivalen solar cell - short-circuit.....	21
Gambar II.16 Circuit ekuivalen solar cell – open-circuit.....	22
Gambar II.17 Kurva karakteristik solar cell.....	22
Gambar II.18 Kurva karakteristik solar cell untuk variasi <i>irradiance</i>	23
Gambar II.19 Kurva daya dan <i>Maximum Power Point</i>	23
Gambar II.20 Circuit ekuivalen untuk <i>real</i> solar cell.....	25
Gambar II.21 Kurva karakteristik solar cell untuk variasi temperatur.....	27
Gambar II.22 Jenis solar cell Silikon (a) Monocrystalline, (b) Polycrystalline, (c) Amorphous Silicon film.....	28
Gambar II.23 Koneksi paralel solar cell.....	29

Gambar II.24	Kurva karakteristik untuk konfigurasi paralel.....	29
Gambar II.25	Parsial <i>shading</i> pada koneksi paralel.....	30
Gambar II.26	Koneksi seri pada solar panel.....	30
Gambar II.27	Kurva karakteristik untuk koneksi seri.....	31
Gambar II.28	Koneksi seri dengan dioda bypass.....	31
Gambar II.29	Kurva karakteristik solar cell pada koneksi seri dengan satu cell <i>shading</i>	32
Gambar II.30	Parsial <i>shading</i> pada koneksi seri.....	32
Gambar II.31	Kurva karakteristik solar cell pada koneksi seri dengan satu cell parsial <i>shading</i>	33
Gambar II.32	Kurva daya untuk parsial <i>shading</i>	33
Gambar II.33	Proses <i>discharge</i> dalam accu.....	37
Gambar II.34	Proses <i>charge</i> dalam accu.....	37
Gambar II.35	Circuit ekuivalen dasar dari accu.....	38
Gambar II.36	Circuit ekuivalen accu dengan memperhitungkan proses dinamik dan quasi statik.....	39
Gambar II.37	Kurva karakteristik <i>discharge</i>	41
Gambar II.38	<i>Freezing</i> accu sebagai fungsi <i>State of Charge</i>	42
Gambar II.39	Koneksi paralel accu.....	46
Gambar II.40	Koneksi seri accu.....	46
Gambar II.41	Koneksi seri-paralel accu.....	46
Gambar II.42	Series regulator.....	47
Gambar II.43	Shunt regulator.....	48
Gambar II.44	Simbol inverter.....	48
Gambar II.45	(a) <i>Center tapped load</i> (b) <i>Center tapped supply</i> ($\frac{1}{2}$ jembatan) (c) <i>H-type bridge</i> (jembatan penuh).....	49
Gambar II.46	Proses pembentukan gelombang square pada <i>H-type bridge</i>	49
Gambar II.47	Proses pembentukan gelombang square pada <i>center tapped load</i> dan <i>center tapped supply</i>	50
Gambar II.48	Proses pembentukan gelombang modified sine wave pada <i>H-type bridge</i>	50

Gambar II.49	Sine wave inverter dengan <i>step down converter</i>	51
Gambar II.50	Tegangan output <i>step down converter</i>	51
Gambar II.51	High frequency transformator digabung dengan PWM <i>H-type bridge</i> inverter.....	51
Gambar II.52	<i>Total Dynamic Head</i>	53
Gambar III.1	Diagram blok prototype <i>Solar Water Pump System</i>	54
Gambar III.2	Analisa spesifikasi komponen.....	56
Gambar III.3	Ilustrasi variasi <i>solar altitude</i> di Bandung.....	59
Gambar III.4	Ilustrasi <i>tilt angle</i> di Bandung.....	59
Gambar III.5	Peta <i>sun hour</i> untuk wilayah Asia pada bulan Desember.....	60
Gambar III.6	Peta <i>sun hour</i> untuk wilayah Asia pada bulan Juni.....	61
Gambar III.7	Simbol N-Channel MOSFET dan P-Channel MOSFET.....	62
Gambar III.8	Prinsip kerja N-channel MOSFET sebagai switch.....	62
Gambar III.9	Prinsip kerja P-channel MOSFET sebagai switch.....	63
Gambar III.10	Skema series regulator.....	64
Gambar III.11	Skema square wave inverter.....	66
Gambar III.12	Simbol <i>logic inverter</i>	66
Gambar III.13	Rangkaian <i>RC oscillator</i>	67
Gambar III.14	Prinsip kerja C-MOSFET sebagai switch.....	67
Gambar IV.1	Sinyal <i>clock</i> series regulator.....	69
Gambar IV.2	Perhitungan efisiensi inverter.....	69
Gambar IV.3	Sinyal output square wave inverter.....	70
Gambar IV.4	Variasi tegangan inverter untuk lamanya waktu <i>discharge</i> accu.....	72
Gambar IV.5	Variasi arus inverter untuk lamanya waktu <i>discharge</i> accu.....	72
Gambar IV.6	Kurva tegangan accu untuk lamanya waktu <i>discharge</i> accu.....	73
Gambar IV.7	Variasi arus <i>charge</i> untuk lamanya waktu <i>charge</i> accu.....	76
Gambar IV.8	Kurva tegangan accu untuk lamanya <i>charge</i> accu.....	77
Gambar V.1	Diagram blok <i>Solar Water Pump System</i> dengan LVD.....	80

DAFTAR RUMUS

	halaman
Rumus II.1 Hukum Wien.....	4
Rumus II.2 Hukum Stefan–Boltzmann.....	5
Rumus II.3 Jarak bumi-matahari.....	6
Rumus II.4 <i>Declination</i>	7
Rumus II.5 <i>Solar altitude</i>	8
Rumus II.6 <i>Air Mass</i> (AM).....	12
Rumus II.7 <i>Irradiance</i> fungsi <i>Air Mass</i> (AM).....	12
Rumus II.8 Presentase <i>irradiance</i>	12
Rumus II.9 <i>Tilt angle</i>	12
Rumus II.10 Arus dioda.....	19
Rumus II.11 Arus solar cell ideal.....	20
Rumus II.12 Arus solar cell short-circuit.....	21
Rumus II.13 Tegangan solar cell open-circuit.....	22
Rumus II.14 <i>Fill Factor</i>	24
Rumus II.15 Daya output maksimum solar cell.....	24
Rumus II.16 Efisiensi solar cell.....	24
Rumus II.17 Arus solar cell <i>real</i>	25
Rumus II.18 Tegangan open circuit sebagai fungsi temperatur.....	26
Rumus II.19 Efisiensi solar cell sebagai fungsi temperatur.....	27
Rumus II.20 Tegangan terminal accu.....	38
Rumus II.21 Arus accu.....	39
Rumus II.22 <i>Equilibrium voltage</i>	39
Rumus II.23 Peukert’s equation.....	43
Rumus II.24 Peukert exponent.....	44
Rumus II.25 Efisiensi accu.....	44
Rumus II.26 <i>Coulombic efficiency</i> (<i>Conversion efficiency</i>).....	44
Rumus II.27 <i>Voltage efficiency</i>	44

Rumus II.28 <i>Total vertical lift</i>	52
Rumus II.29 <i>Total Dynamic Head (TDH)</i>	52
Rumus III.1 Arus yang diambil dari accu.....	56
Rumus III.2 Lama beban <i>discharge</i> dengan DOD 100%.....	56
Rumus III.3 Lama beban <i>discharge</i> dengan DOD tertentu.....	57
Rumus III.4 Kapasitas accu yang terpakai.....	57
Rumus III.5 Lama <i>charge</i> accu.....	57
Rumus III.6 <i>Fix tilt angle</i>	61
Rumus III.7 Frekuensi <i>RC oscillator</i>	67
Rumus IV.1 Efisiensi inverter.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A *Inverse Square Law*

Lampiran B *Solar Costant*

Lampiran C *Air Mass (AM)*

Lampiran D *Persentase Irradiance*

Lampiran E *Sejarah Solar Cell*

Lampiran F *Kurva Solar Cell untuk Variasi Resistansi Seri dan Resistansi Paralel*

Lampiran G *Jenis Solar Cell*

Lampiran H *Perbandingan Teknik Memompa*

Lampiran I *Annual Global Solar Radiation*

Lampiran J *Dokumentasi*